

Lego Mindstorms EV3 を用いた倒立 2 輪ロボットのモデル化と制御

260106 小熊 康揮

260126 高橋 黎

指導教員 木澤 悟

1 緒言

昨年度の研究は、Lego Mindstorms EV3(以下 EV3) と MATLAB/Simulink を用いて古典制御 (PID 制御) による倒立の安定化制御を行った。今年度は、モデルの運動方程式を立て、現代制御理論を用いた倒立の安定化制御を行った。

2 実験

EV3 で作成した倒立 2 輪ロボットを図 1 に示す。2 つのモータは車輪に接続されている。ジャイロセンサは車体の姿勢角速度の測定を行い、エンコーダは車輪の回転角度の測定を行う。制御系設計ソフトは MATLAB/Simulink を用いる。

倒立 2 輪ロボットのモデルを図 2 に示す。モータ入力 $u(t)[V]$ 、車体の姿勢角度は $\theta(t)[rad]$ 、車輪の回転角度は $\phi(t)[rad]$ 、車体の姿勢角速度は $\dot{\theta}(t)[rad/s]$ 、車輪の回転角速度は $\dot{\phi}(t)[rad/s]$ とする。目的は倒立 2 輪ロボットの姿勢角度 $\theta(t) = 0[rad]$ を保つためにモータ入力 $u(t)[V]$ を加えてモータを制御することである。

はじめに、モータの動特性を検討した。モータ入力 $u(s)$ と車輪の回転角速度 $\dot{\phi}(s)$ の関係は次の一次遅れ系で表される。

$$\dot{\phi}(s) = \frac{K}{Ts + 1} u(s) \quad (1) : \mathcal{L}[\dot{\phi}(t)] := \dot{\phi}(s), \mathcal{L}[u(t)] := u(s).$$



図1:倒立 2 輪ロボット

倒立 2 輪ロボットの車輪に大きさ 50 のステップ入力を加え、補助輪を付け走らせた。図 3 より、実験から得られた車輪の回転角速度 $\dot{\phi}(t)$ が、時定数 $T = 0.091s$ 、比例ゲイン $K = 10$ としたときのシミュレーション結果と近似しているため、これらの値を T 、 K とする。

次に、車体の動特性を検討した。倒立 2 輪ロボットの車輪を固定し、車体を自由振動させた。シミュレーションは、自由振動の運動方程式 $(ML^2 + I)\ddot{\theta}(t) + D\dot{\theta}(t) + MgL\theta(t) = 0$ を用いる。図 4 より、実験から得られた車体の姿勢角度 $\theta(t)$ が、車体の慣性モーメント $I = 0.01kg \cdot m^2$ 、車体の粘性摩擦係数 $D = 3.36 \times 10^{-2}kg \cdot m^2/s$ としたときのシミュレーション結果と近似しているため、これらの値を I 、 $D\theta$ とする。

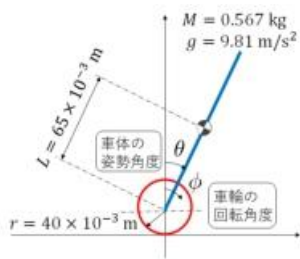


図 2: 倒立 2 輪ロボットのモデル

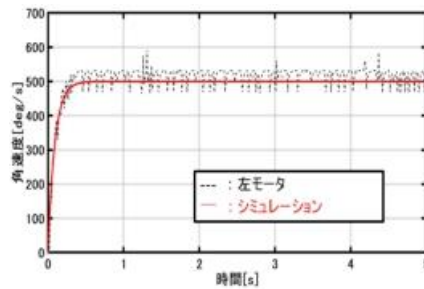


図 3: ステップ応答とシミュレーションの比較

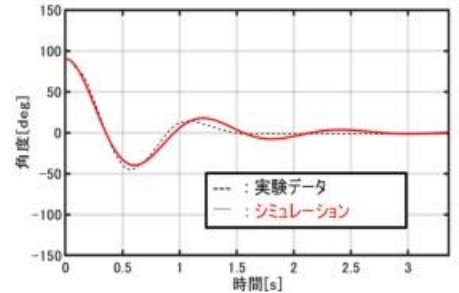


図 4: 自由振動とシミュレーションの比較

以上の 2 つパラメータ推定実験からラグランジュの運動方程式に基づいて、モデルの運動方程式を導出した。状態変数は $x(t) = [\theta(t)\dot{\theta}(t)\phi(t)\dot{\phi}(t)]^T$ とし、状態空間表現は次式で表される。

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2) : A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{MgL}{2MrL+ML^2+I} & 0 & -\frac{D_\theta}{2MrL+ML^2+I} & \frac{MrL}{T(2MrL+ML^2+I)} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{KM r L}{T(2MrL+ML^2+I)} \\ \frac{K}{T} \end{bmatrix}.$$

3 実験結果

倒立を安定させるために、最適レギュレータを用いた制御系を設計した。最適レギュレータの重み行列 Q 、 R は以下に示す。

$$Q = \text{diag}[10, 5000, 10, 5200], R = 130$$

制御系を実装し、倒立 2 輪ロボットが倒立したときの車体の角度 $\theta(t)$ を図 5 に示す。倒立 2 輪ロボットは前後に振動しているが、倒立した。倒立 2 輪ロボットのパラメータを導き、現代制御理論を用いた制御に成功した。

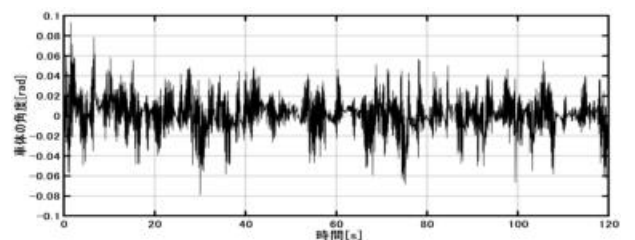


図 5: 車体の角度 $\theta(t)$